Title	超流動^3Heの輸送的性質(基研研究会報告「H^3_eの超流動」)
Author(s)	宗田, 敏雄
Citation	物性研究 (1974), 22(2): B7-B9
Issue Date	1974-05-20
URL	http://hdl.handle.net/2433/88788
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

超流動 ^{3}He の輸送的性質

東京教育大・理学部物理　　宗 田 敏 雄

超流動液体 ^3H_e の極低温のA相はNMRと静的帯磁率の実験により odd orbital angular momentum で平行スピン状態(ESP)の Cooper 対の超流動相であることが大体確定し，B相は零音波の減衰と静的帯磁率の減少から反平行スピン状態を含む Cooper 対の超流動性で非等方的なギャップを含みその orbital angular momentum state は odd か even かはまだ確定していない。いづれにしても両方の相とも非等方的なエネルギーギャップを持つことは確かな様である。

さて輸送的な性質を示す実験としては，粘性の実験[1]と熱伝導率の実験[2]がある。また将来はスピン拡散係数の実験も行われるであろうことから，これらの理論的計算を非等方的なエネルギーギャップを持つ超流動液体に対して行うことと実験の結果と比較することは意味があるであろう。

ここでは準粒子に対する Kinetic Equation の collision integral を計算することによって，有効な準粒子の緩和時間を計算する。これから粘性，熱伝導及びスピン拡散の諸係数を計算する。

粘性係数については非等的なギャップを持つ時に T_c 近傍では次の形を取る。

$$\eta/\eta_c = \left(\frac{T_c}{T}\right)^2 e^{-\frac{a\triangle(T)}{T}} \tag{1}$$

ここに η/η_c は粘性係数の T_c での値との比で a は常数でそれはギャップの角度依存性によって異なり，$\triangle(T)$ は $T_c\left(1-\frac{T}{T_c}\right)^{1/2}$ に比例するギャップの最大値に対応する量である。等方的なギャップの場合も $\eta/\eta_c = (T_c/T)^2\left(1-\frac{a'\triangle(T)}{T}\right)$ の形となって異なる常数 a′ を持つ。実験は測定値を semi−empirical formula の形にすると(1)の形となって a を弱結合理論で計算したものとオーダーが大体一致する。T＝0 の近傍では relaxation time を Q とするとギャップの node が角度の1次関数でその近傍が近似出来る時は，

$$\eta = \text{const.}\ Q\left(\frac{T}{\triangle}\right)^2 \tag{2}$$

の形となりQはT^{-4}に比例するもので,全体として$\eta \infty T^{-2}$の形となる。一方等方的なギャップの場合ηは$T^{-2}\exp(-\triangle(T)/T)$の形となり，実験はまだ1.2mk迄しかないが，低温迄なされれば実験値の温度依存性より等方的か非等方的かと云うことが判断される。

熱拡散を示す熱伝導率についてはT_c附近では

$$\chi = \chi_n + O(\triangle(T)^2) \tag{3}$$

の形となる。ここにχとχ_nは超流動相とノーマルでの熱伝導率を示す。従って$\chi_n T = \text{const}$から$\chi_s T = \text{const}$.となる。等方的なギャップの場合は

$$\chi = \chi_n(1+\text{const}(\triangle(T)/T)^2) \tag{4}$$

の形となりノーマルの値からの2次の△のずれを示す。実験はT_cの附近では，T_cでの hydrodynamic な thermal flow conductivity による跳びを示した後に$\chi T = \text{const}$.の振舞いをするので，(3)式と(4)式の両方の場合を支持する。$T=0$の近傍ではχはT^{-1}に比例する。但し node の近傍でエネルギーギャップが角度の1次に比例すると仮定している。等方的なギャップの場合は$T^{-1}\exp\left(-\frac{\triangle(T)}{T}\right)$に比例する。ここでも等方性と非等方性で大きな差が出て来る。

粘性と熱伝導の場合には輸送現象に伴う分布関数のずれがエネルギーギャップに及ぼす寄与は，エネルギーギャップが空間反転に対して不変であると零になる。しかしスピン拡散係数の場合は，スピン数が上向きと下向きで異っていて，エネルギーギャップが局所的に場所に依存する。スピンが互に逆向きの singlet の場合はその寄与が零になることが証明出来るがスピンが平行な対を含む triplet の場合は寄与が出て来る。スピン singlet の場合のスピン拡散係数はT_cの近傍で次の形となる。

$$D/D_N = 1 + C\frac{\triangle(T)}{T} \tag{5}$$

ここでDとD_Nは超流動とノーマルでのスピン拡散係数で，Cは常数でギャップの角度依存性による。$T=0$の近くでは

$$D = a\,T^{-4} \tag{6}$$

に比例して発散する。ここでaはcと同じくギャップの角度依存性による常数である。(6)の結果は温度が $T=0$ に近付くと準粒子の数が減り，スピン拡散はより抵抗を少く受けることにより説明される。スピン triplet の場合は空間的なスピン数が場所の座標の1次に比例するならばエネルギーギャップの空間的変化は省略出来る。しかしギャップの局所的な変化は小さいとしてもスピンの流れにギャップの空間依存を示す $\nabla\hat{\triangle}$（ここに $\hat{\triangle}$ はエネルギーギャップをスピン空間で書いたもの）の項が出て来るが，T_c 近傍では singlet の場合にも出て来た主要項に較べて T_c/E_F だけ小さいことが証明出来る。T_c/E_F は $10^{-2}\sim10^{-3}$ なので省略出来る。また $T=0$ の近傍では主要項に較べて $(T/\triangle)$ のベキだけ小さくなるが(6)式によって発散するのでいづれにしても triplet の場合は singlet の場合と同様に T_c 近傍で T に1次でノーマルに較べてずれて来て，$T=0$ では発散すると云うのが，超流動相でのスピン拡散係数の振舞いである。

この仕事は藤木和男君との discussion と計算によることをここに記します。

文　献

1) T. A. Alvesalo, Yu. D. Anufriyev, H. K. Collan, O. V. Lounasmaa and P. Wennerström ; Phys. Rev. Letters **30** (1973), 962.

2) T. J. Greytak, R. T. Johnson, D. N. Paulson, and J. C. Wheatley ; Phys. Rev. Letters **31** (1973), 452.

液体^3H_eの超流動状態における粘性係数

理北大・理　浦　田　信　夫

我々は液体 ^3H_e の超流動状態が異方的な order-parameter $\triangle(\Omega)$ を持つBCS状態であるとして paramagnon の散乱による粘性係数を $\Pi\,T \gg \triangle$ が成りたつ範囲で求めた。この不等式の成りたつ範囲は，$T \gtrsim 0.9\,T_c$ である。結論として上の範囲は更に二